昆 虫 学 报 *Acta Entomologica Sinica*，April 2008，51(4)：395－401 ISSN 0454-6296

基于最大虫口限量原理的外来入侵害虫定量风险评估技术

李白尼，程中山，张润杰*

（中山大学昆虫学研究所/有害生物控制与资源利用国家重点实验室，广州 510275）

摘要：为了保证检疫的安全性而又不失国际贸易的透明度，需要对检疫害虫进行定量的风险评估。本文介绍一套基于最高虫口限量概念的害虫传入定量风险评估计算机平台，把两性生殖害虫的入侵风险建立在至少一对潜在交配成虫的传入概率上。计算机分析平台由 SAS V9.0 分析软件，PHP 网络编程语言和 MySQL 数据库构建，通过 Apache 服务器进行网络发布。用户通过 web 登陆该平台并输入相关参数，可自动调用服务器端的 SAS 分析程序进行分析并在网页上得到结果。这是害虫传入风险定量评估的新尝试，它将为检疫部门提供一套实用性较强的害虫传入风险量化评估的新工具。

关键词：入侵害虫；风险评估；最大虫口限量；计算机平台

中图分类号：Q968.1 **文献标识码**：A **文章编号**：0454-6296(2008)04-0395-07

Quantitative risk analysis of invasive alien pests based on the maximum pest limit concept

LI Bai-Ni，CHENG Zhong-Shan，ZHANG Run-Jie*（Institute of Entomology/State Key Laboratory for Biocontrol，Sun Yat-sen University，Guangzhou 510275，China）

Abstract：A quantitative risk assessment is needed for each quarantine insect pest to ensure quarantine security without sacrificing the transparency of international trade. In this paper，a quantitative risk analysis system based on the maximum pest limit concept (MPL) was designed to determine the risk probability of alien insect pests introduced into China. The equations of MPL were constructed to determine the probability of a single pair of bisexual insects surviving in a shipment of commodity which were to be introduced into China. A computer system integrating with SAS V9.0 was developed by PHP program language and MySQL database to assess the risk and released on web through Apache server. The clients just have to submit the form lists including required data after logging into the system，and the computer system will activate the analysis process automatically and show the precise outcome on web. This research is a new attempt in the quantitative risk analysis of alien insect pests，and provides a new analysis tool for the quarantine sector of the government.

Key words：Invasive pests；risk assessment；maximum pest limit；computer system

生物入侵是一个包括传入、定居、适应和扩散四个阶段的复杂过程(Carey，1993)，害虫传入是其第一步，通过贸易和旅游传播扩散又是害虫传入的最主要途径(IUCN，2000)。过去，由于入侵害虫的风险评估大多是定性或半定量评估，没有对检疫对象的入侵、定殖风险给出数量化的安全性指标，结果使风险标准难以把握，再加上一些国家把检疫作为一种潜在的贸易非关税壁垒，因此常常成为双边贸易谈判争论的焦点。为了有效防止检疫性害虫从境外传入我国同时又不牺牲国际贸易的透明度，需要对害虫传入的风险进行数量化的评估(Yamamura *et al*.，1999；陈洪俊等，2002)。最大虫口限量概念(maximum pest limit，MPL)以及相应预测方法，就是为满足上述需求而被发展出来的。

害虫要在一个地区成功传入、定殖需要一定的前提条件，对于随同一批货物抵达海关的某种两性

基金项目：国家自然科学基金项目(30471162，30671394)；国家 973 计划项目(2002CB111405)

作者简介：李白尼，1984 年生，男，硕士研究生，研究方向为 IPM 信息技术与害虫预测预报

* 通讯作者 Author for correspondence，Tel.：02084036901；E-mail：lsszrj@mail.sysu.edu.cn

收稿日期 Received：2007-09-06；接受日期 Accepted：2008-02-25

生殖的群居性害虫来说，虫口数量、雌雄比例是决定其能否在该地成功建立种群的重要因素。Landolt等(1984)提出植食性入侵害虫的检验安全水平应该建立在一批货物中出现一对潜在交配成虫的概率上，并把它作为一个可接受的风险限度。一对潜在交配成虫的定义为一头有生育能力的雄虫和一头有生育能力的雌虫在同一时间和同一地点出现，使它们有可能进行交配繁殖后代。根据Landolt等的观点，Baker等(1990)提出最大虫口限量概念作为评估害虫传入风险的标准，其含意是：为了防止害虫成功入侵和定殖，害虫的传入数量不能超过建立初始种群所需的最少个体数量，检疫上把它定义为在特定时间进口到特定地点的货物上存在的最大虫口限量。对于两性生殖的实蝇来说，由于寄主范围广，耐性强，产卵量大，成虫寿命长，一对交配成虫就足以建立种群。随后，一些昆虫学家以此建立了有关害虫的检验检疫和传入风险评估的标准(Mangan *et al*.，1997)。在评估两性生殖害虫传入的风险时，最有价值的就是估计至少一对潜在交配成虫传入的概率。

1 材料与方法

1.1 基于最大虫口限量原理的外来入侵害虫(桔小实蝇)定量风险评估模型

1.1.1 在一批货物中发现一对或多对潜在可交配成虫的概率：桔小实蝇的生殖能力和适应能力极强，因此其传入到岸后存活下一对或多对潜在交配成虫的概率，主要通过计算水果的受害率和每批货物量来确定。一批货物中有X头害虫且不全是同性的概率为：

$$P(X\text{头两性果蝇}) = (e^{-NR}(NR)^X/X!) \times (1-0.5^{X-1}) \quad (1)$$

如果从$X=2$到$X=\infty$对方程(1)求和，就得到一批货物中出现一对或多对潜在交配成虫的概率：

$$P_{(\text{出现一对或多对潜在可交配成虫})} = \sum_{x=2}^{\infty}(e^{-NR}(NR)^x/x!) \times (1-0.5^{x-1}) \quad (2)$$

消毒处理措施将以一定杀虫效果影响参数R，而抽样检验将以一定的检出率影响传入概率P。因此，在(2)式中加入杀虫效果参数和检出参数，就能估计害虫随进口商品传入的风险。

1.1.2 除虫处理后，货物中残留的害虫数量分布函数以及同一批货物中可接受的最大害虫侵害率P：因为进口货物的除虫处理措施都比较高效，除虫处理后的货物残留害虫数量$\lambda(\lambda=\mu\times\varphi)$极少，其分布趋势可以用泊松分布来描述，趋近于0。在每个受害水果所含害虫幼虫的平均数、除虫效率都已知且置信度为α的情况下，可接受的害虫侵害率最大值P的计算公式为：

$$\sum_{r=0}^{m}P(r) = \sum_{r=0}^{m}\frac{(\mu\varphi N_p)^r}{r!}\exp(-\mu\varphi Np) = \sqrt{\alpha} \quad (3)$$

其中，r：货物中含有的害虫数；φ：除虫效率；N：货物的总量大小；P：受害水果所占的比率；m：除虫处理后一批货物中允许含有的最大活害虫数(Baker *et al*.，1990)。

1.1.3 根据抽检结果来计算整批货物害虫侵害率：在一定置信度的情况下，可以通过货物抽检的样本大小n和抽检过程中发现的害虫数量来计算整批货物的真实害虫侵害率P_u：

$$\sum_{x=0}^{x=s}e^{-nP_u}(nP_u)^x/x! = 1-C \quad (4)$$

其中C为置信度，s为抽检样本中出现的害虫数，n为抽检的样本大小(Couey and Chew，1996)。

1.1.4 货物中含有1头以上已交配雌虫概率的计算：两性生殖且群居性害虫传入概率的计算 害虫的传入概率取决于两个生物学特点：繁殖模式(单性生殖或两性生殖)和侵害模式(群居或独居)。实蝇类害虫是两性生殖的群居型害虫，在一批水果中至少含有1头已交配雌虫的概率如下：

$$\begin{aligned} &Pr(Hi \geqslant 1 \mid W_i = w) \\ &= \sum_{z=1}^{\infty}[1 - Pr(Y_i = z \mid Z_i = z) - Pr(Y_i = 0 \mid Z_i = z)] \\ &\times Pr(Z_i = z \mid W_i = w) \\ &= 1 - \left(\frac{1-\beta}{1-f\beta}\right)^{\alpha w n_i} - \left(\frac{1-\beta}{1-(1-f)\beta}\right)^{\alpha w n_t} \\ &+ (1-\beta)^{\alpha w n_i} \end{aligned} \quad (5)$$

其中参数β由以下公式求得最大似然值：

$$\sum_{i=1}^{k'}Q'_i/\sum_{i=1}^{k'}U'_i = -\frac{\hat{\beta}}{(1-\hat{\beta})\ln(1-\hat{\beta})} \quad (6)$$

参数α为：

$$\alpha = -1/\ln(1-\beta) \quad (7)$$

k = 一定时间内，进口水果的批次；n_i = 第i批货物中的水果数量；W_i = 第i批水果除虫处理后的水果受害率；Z_i = 第i批水果中活的幼虫的数量；Y_i = 第i批水果中雌性害虫的数量；f = 一头害虫是雌虫的概率；H_i = 第i批水果中具有生殖力的雌性害虫数量；p = 除虫处理后害虫的存活率；Q'_i = 在检

疫港口,从第 i 批水果的抽检样本中发现的幼虫数量；U'_i = 在检疫港口,第 i 批水果的抽检样本中所包含的受害水果数量；α,β 均为相应参数。

模型成立的有关假设

(1)对一批水果,用 Γ 分布描述其原产地水果受害率的分布情况；

(2)用对数分布描述一个受害水果中所含幼虫头数的分布情况；

(3)水果出口前已进行了一次除虫处理,处理效果是一个常数；

(4)水果除虫处理后和装箱运输前,进行一次随机抽样检查,如果从中发现害虫幼虫,那么该批水果将不能运输出口；

(5)水果中的幼虫在运输过程中转化为成虫；

(6)如果一批水果中含有 2 头或 2 头以上不完全同性的害虫,那么它们总是可以成功配对。

1.1.5　特定条件下抽检样本大小的计算：在一定的风险等级条件下,抽检样本大小的计算如下(Cannon ,1998)：

定义 r：$ps = qr$

对于特定的入侵风险等级 β,相应抽检样本大小 s_β 的计算：

$$s_\beta = n\mu\varphi\eta r_\beta \tag{8}$$

对于 r_β 值,在不同入侵风险等级 β 的条件下,对于抽检样本中允许出现的最大虫口限量 t 为 0 对害虫,r_β 的值由下式得出：

$$r_\beta = r_{0,0,\sqrt{\beta}} \cong \frac{1}{2\sinh^{-1}\left(\frac{1}{2}\mathrm{e}\sqrt{\beta}\right)} - \frac{1}{2} \tag{9}$$

n = 一批货物中的水果个数；p = 除虫处理前受害水果所占的比例；μ = 每个受害水果中的平均害虫数；φ = 除虫处理后的害虫存活率；η = 水果经过运输过程后的害虫存活率(与货物运输所经历的时间长短有关)；q = 运抵目的地的水果中所含害虫的平均值；β = 一种检疫害虫的成功侵入和定殖或一批水果中所含某种害虫的数量超过了 MPL；s_β = 在害虫入侵风险等级为 β 的情况下,抽样样本的大小；t = 抽检样本中允许出现的最大害虫数,一般情况下 t 取 0,因为 t 值越大,所需的样本数量就越多；r_β = 为了计算方便而设定的,在入侵风险为 β 情况下满足 $ps = qr_\beta$ 的参数；$U(p)$ = 一批水果在经过除虫措施后仍然不合格的概率。

1.2　基于 MPL 原理的外来入侵害虫定量风险评估计算机平台

我们利用 PHP 网络编程语言和 MySQL 网络数据库,研制了基于 MPL 原理的外来入侵害虫定量风险评估计算机平台。平台基于 MySQL 数据库,Apache 服务器,Zend Optimizer 优化器,Zend engine 加速引擎,PHP 网络编程语言和 SAS V9.0 统计分析软件,采用主流平台模式：web 浏览器/服务器模式(B/S 模式),实现客户端零安装。系统结构分为客户端/人机接口层、应用程序层、数据库层和网络服务器层 4 个层次(图 1)。应用程序层根据客户端传递的参数和指令,运行相应的程序模块,动态生成.sas 文件,再由 SAS 系统分析用户提交的数据,进行运算并最后将分析结果和函数图表通过 web 浏览器展现给用户(图 2 ~ 7)。

使用本系统的用户在客户端不必安装庞大的 SAS 软件,也不必了解 SAS 复杂的使用方法和编程语言(S 语言),只需要在 web 表单填写相应数据就由服务器自动调用 SAS 程序进行计算,并得到需要的答案,快速、方便又直观,用户还可以通过知识库来了解最大虫口限量原理和其他最新的预测算法信息。

1.2.1　风险预测模块：目前已开发出 5 个基于最大虫口限量原理风险的定量风险分析模块(图 1 中 Ⅰ,Ⅱ,Ⅲ,Ⅳ 和 Ⅴ 部分),其主要功能有：1)分析在一批货物中发现一对或多对潜在可交配成虫的概率；2)分析经除虫处理后,同一批货物中可接受的最大害虫侵害率；3)通过抽检结果来计算整批货物的害虫侵害率；4)计算货物中含有 1 头以上已交配雌虫概率；5)计算抽检样本大小的计算。

以上各个分析预测模块均由服务器文件(图 1 中 a_1,a_2,a_3,a_4,a_5 部分)和数据库数据(图 1 中 b_1,b_2,b_3,b_4,b_5 部分)组成。服务器文件存放.php 脚本文件和源代码,处理用户传递过来的数据并自动生成相应.sas 文件,最后调用 SAS 程序进行分析；数据库数据主要是分析模型的参数值、原始数据以及结果数据。由于关键分析数据由 MySQL 数据库进行统一储存和管理,因此用户能够对分析模型进行结构调整,同时系统的功能扩展也变得容易(如：有关分布趋势的拟合、分析结果对比、功能扩展后的数据挖掘等等)。

1.2.2　知识库模块：主要储存系统架构的技术文档、分析模型的有关资料以及风险分析的有关文献。MySQL 数据库在整个系统中起着基础性的作用。本系统采用了关系型数据库模式,能够为其他程序模块提供数据支持,同时提供强大检索功能,使用户可

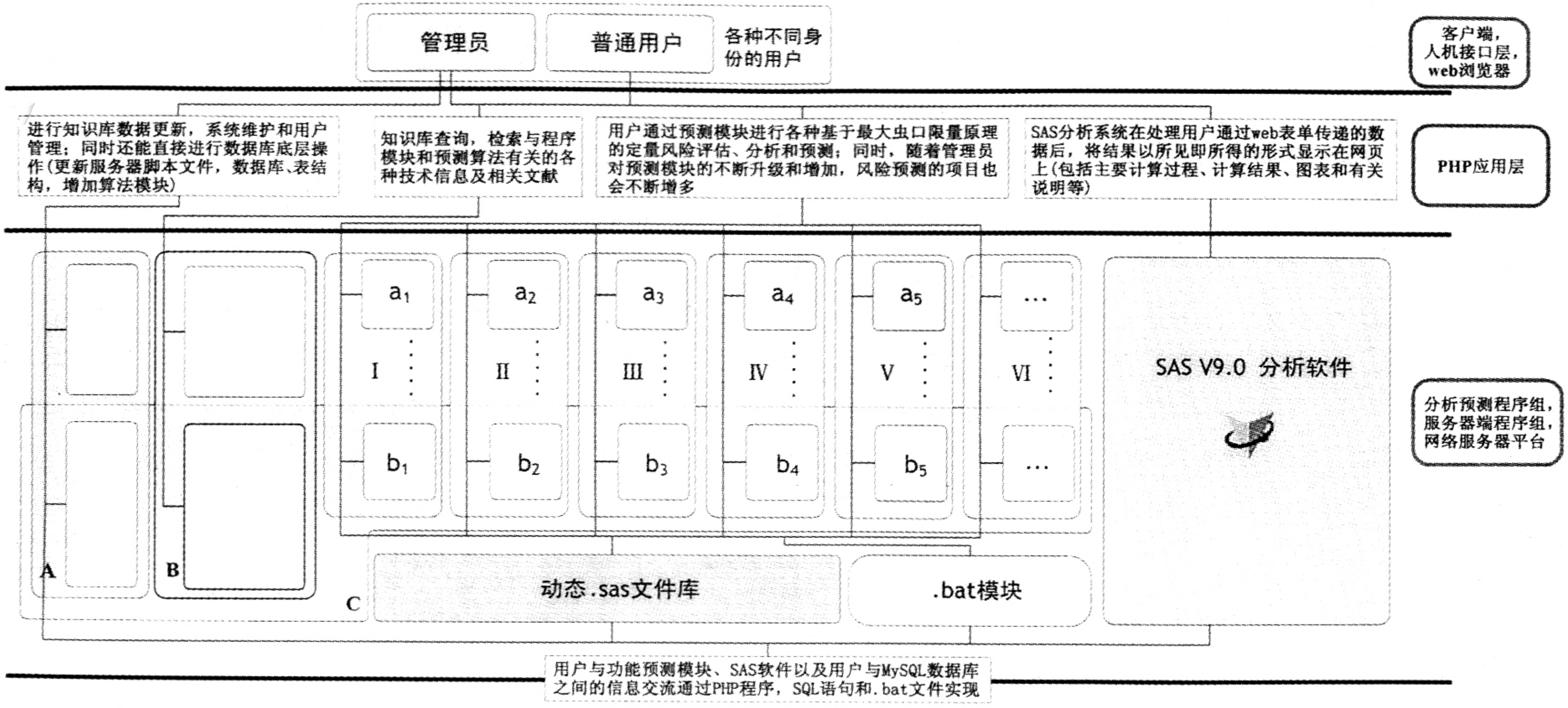

图 1　系统架构

Fig. 1　Structure of the system

图中Ⅰ，Ⅱ，Ⅲ，Ⅳ和Ⅴ为基于最大虫口限量原理的风险分析模块，Ⅵ为未来可扩展和增加的其它预测分析模块，A 为系统与数据库动态管理模块，B 为知识库模块，C 为 MySQL 网络数据库。

Ⅰ，Ⅱ，Ⅲ，Ⅳ and Ⅴ in the figure are risk analysis modules based on MPL concept; Ⅵ represents the extend risk analysis modules which can be developed in future; A is the dynamic database management module, B is knowledge module and C represents MySQL database.

以通过多种检索方式查询有关资料。用户在使用分析预测模块时，还能查询相应的辅助性参数、算法和使用说明。系统的构架将管理员与用户的服务器程序、应用程序及数据库连接方式分开，利于系统安全，方便数据更新。

1.2.3　系统与数据库动态管理模块　系统有密码保护的系统控制台，管理员可在客户端或服务器端进行操作，既可在应用程序层进行.php 脚本文件、系统源代码、数据库数据的增加、删除和更改，也可以在底层的数据库服务器层直接进行数据库数据及数据表结构的更改，方便系统的维护和升级。

由于系统各组件采用模块化设计，新的预测算法可以与现有程序相整合（图 2，3）；由于采用了 MySQL 来进行数据管理，因此当风险分析算法需要大规模的数据集时，可以快速而简便地通过调整系统与 SAS 程序的数据交流方式来满足其需要（既可通过.sas 源代码，也可通过 SAS 接口：SAS ODBC 和 SAS Share）。

1.3　应用实例数据

假设从印度 Sardarkrushinagar 地区果园进口一批芒果到中国，分析桔小实蝇随芒果传入我国并成功定殖的潜在风险。

根据《关于印度芒果输华芒果卫生条件议定书》的内容，印度芒果在出口到中国之前必须经过 48℃持续 1 小时的热水处理。研究表明，经 48℃持续 1 小时热水浸泡后，芒果中的桔小实蝇幼虫的残存率接近于 0（Barbara *et al*.，1997；梁广勤等，1999；Pirunchana and Methinee，2005），本文将残存率定为 0.0001。芒果属于大中型水果，我们按每箱芒果数量为 37 个进行计算（叶世雄，1994）。

印度 Sardarkrushinagar 地理位置处于 24°10′N，72°26′E，芒果园的桔小实蝇危害情况为 1%，当地采用 MAT 雄虫诱杀技术防治桔小实蝇（Stonehousea *et al*.，2007）。

图 2　系统主界面

Fig. 2　Main interface of the system

图 3　系统的分析模块界面

Fig. 3　Interface of analysis modules of the system

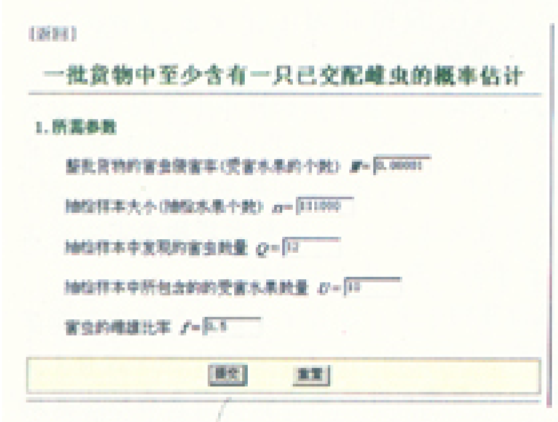

图 4　表单界面

Fig. 4　Interface of the form

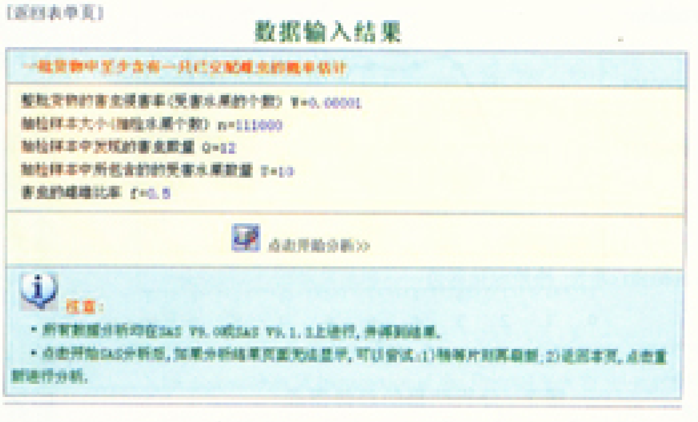

图 5　输入数据统计界面（即将进行分析）

Fig. 5　Summary interface of the submitted data (ready to analysis)

Obs	a	qu	b	n	Pr
1	0.35418	1.19999	0.29825	111000	0.015929
2	0.35419	1.19999	0.29825	111000	0.015929
3	0.35419	1.19999	0.29826	111000	0.015929
4	0.35419	1.19999	0.29826	111000	0.015929
5	0.35419	1.19999	0.29826	111000	0.015930
6	0.35419	1.19999	0.29826	111000	0.015930
7	0.35419	1.20000	0.29826	111000	0.015930
8	0.35419	1.20000	0.29826	111000	0.015930
9	0.35420	1.20000	0.29826	111000	0.015930
10	0.35420	1.20000	0.29826	111000	0.015931
11	0.35420	1.20000	0.29826	111000	0.015931
12	0.35420	1.20000	0.29826	111000	0.015931
13	0.35420	1.20000	0.29827	111000	0.015931
14	0.35420	1.20000	0.29827	111000	0.015931
15	0.35420	1.20000	0.29827	111000	0.015932
16	0.35421	1.20000	0.29827	111000	0.015932
17	0.35421	1.20000	0.29827	111000	0.015932
18	0.35421	1.20001	0.29827	111000	0.015932
19	0.35421	1.20001	0.29827	111000	0.015933
20	0.35421	1.20001	0.29827	111000	0.015933
21	0.35421	1.20001	0.29827	111000	0.015933
22	0.35421	1.20001	0.29827	111000	0.015933

图 6　分析结果界面(一批货物中出现一对或多对潜在交配成虫的概率)

Fig. 6　Interface of the analysis outcome (The probability of finding one or more potential mating pairs in the goods)

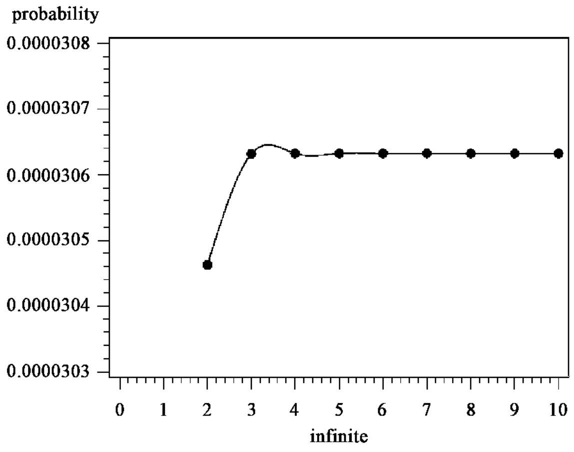

图 7　分析结果的趋势图表(由公式 4:x 从 0 到正无穷大时,P 的累加)

Fig. 7　Distribution trend of the analysis outcome (Function 4: the accumulative value of P according to the increasing of x from 0 to positive infinity)

Stonehousea 等(2007)在调查中发现的实蝇主要是桔小实蝇,另外还有少量桃实蝇和番石榴实蝇等,按有 10% 的受害芒果为桔小实蝇所危害进行计算,即该果园桔小实蝇危害率为 $1\% \times 10\% = 0.1\%$,并且每个受害芒果中只含 1 头桔小实蝇(按最小值计算)。

综合以上数据:有一批总量为 3 000 箱产自印度 Sardarkrushinagar 地区的芒果货物要进口到中国,当地果园桔小实蝇危害率为 0.1%,每个受害芒果含 1 头桔小实蝇,检疫除虫处理后的桔小实蝇残存率为 0.0001,海关检疫抽样比率为 2%(周国梁等,2006)。

2　结果与分析

将上述数据输入系统进行分析(图 4,5,6),得出以下结果:

该批货物中出现一对或多对潜在交配成虫的概率计算过程为(由公式 1,2):该批货物的水果总数 $N = 111\ 000$ 个,经过除虫处理过后平均每个水果的幼虫数量 $R = 0.001 \times 0.00001 = 1 \times 10^{-7}$,计算得出该批货物中出现一对或多对潜在交配成虫的概率为 0.0030632%,系统分析的结果如图 4 所示,分析结果的趋势图如图 5 所示。

在一定置信度的条件下,可接受的最大害虫侵害率的计算过程为(由公式 3):$m = 0$,$\mu = 1$,$\varphi = 0.0001$,$N = 111\ 000$,$\alpha = 0.95$,计算出同一批货物中可接受的最大害虫侵害率为 0.231%;而当 $m = 1$ 时,可接受的最大害虫侵害率约为 2.198%。

根据抽检结果来计算整批货物害虫侵害率过程为(由公式 4):按照我国法律规定,3 000 箱共 111 000个芒果的抽检样本 n 为 2%(约 2 220 个芒果)。在这种情况下,如果抽检样本中发现 1 个受害芒果含有害虫 1 头,则整批货物的害虫侵害率(受害芒果的个数)$P_u = 0.214\%$;如果抽检样本中发现 1 个受害芒果含有害虫 2 头,则整批货物的害虫侵害率(受害芒果的个数)$P_u = 0.284\%$。

在这批货物中至少含有 1 头已交配雌虫的概率的计算过程为(由公式 5,6,7):货物中至少含有 1 头已交配雌虫的概率:设经杀虫处理后含有桔小实蝇活幼虫的芒果比率 W 由 0.0001 下降到 0.00001,害虫雌雄比率 f 为 0.5,抽检样本中发现有 10 个受害芒果($U = 10$),共有害虫 12 头($Q = 12$),计算得出:$Pr(H_1 \geqslant 1 \mid W_1 = 0.00001) \approx 1.6\%$(图 6,7)。

一定的风险等级条件下，抽检样本大小的计算过程为(由公式 9)：假设货物经过运输过程后的害虫存活率 $\eta = 1$，其他参数：$n = 111\ 000$，$\mu = 1$，$\varphi = 0.0001$，$r_\beta = 3.19$，则可得相应风险等级条件下，抽检样本 $s_\beta = 36$。

3 讨论

害虫检验检疫的目的是使害虫传入的风险变得最小。我们不能用检疫措施杀死多少害虫来评价检疫的安全水平，而要根据消毒处理后商品仍然存在的害虫传入的风险有多高来评估。过去应用消毒处理后害虫死亡几率 9 作为检疫处理的标准，显然是不恰当的。因为存活的虫数等于初始虫数乘以(1 - 死亡几率 9)，所出现的传入风险将会随初始虫数的大小而变化，而初始虫数又受商品受害率和进口商品总量所影响，高风险的形势将伴随高受害率和大进口量而出现。因此，死亡几率 9 作为检疫处理标准的缺点是它的最终结果变化很大，不能保证存活的卵和幼虫的数量控制在安全水平以内。

最大虫口限量概念的提出，使人们对外来入侵虫害的风险有了更深入的理解，我们不能单纯依靠检疫除虫措施的有效性来评价害虫的入侵风险，而应该根据除虫处理后残存害虫的数量及其产生子一代的可能性来评价。每批货物的进口总量、货物的进口频率、货物的虫害率、以及检疫除虫措施的有效性均是有效的评估指标。如果一种货物的进口频率和每次进口的总量都比较大，那么随货物进口的害虫的入侵概率就高。在实践中，我们可以应用最大虫口限量技术，把除虫处理和抽样检查措施结合起来，控制货物害虫数量低于 MPL 的概率水平，保证检疫的安全，降低害虫由境外传入我国的风险。

虫害入侵风险的分析与预测，是一项快速发展的技术，涉及到数学生态学、统计学、生物计量学和计算机信息技术等。本项目研制的外来入侵害虫风险评估平台，实现了对入侵害虫多项潜在传入风险的定量评估，它界面友好、操作简单、计算比较精确、算法比较先进。但在今后的研究中，还要进一步引进更先进的预测模型和算法技术如聚类分析、数据挖掘和人工神经网络等，从而增强系统功能，提高预测的精确度。

参 考 文 献 (References)

Baker RT, Cowley JM, Harte DS, Frampton ER, 1990. Development of a maximum pest limit for fruit flies (Diptera: Tephritidae) in produce imported into New Zealand. *J. Econ. Entomol.*, 83(1): 13 - 17.

Barbara CW, Graeme KC, John HM, 1997. Comparative mortality responses of two cook island fruit fly (Diptera: Tephritidae) species to hot water immersion. *J. Econ. Entomol.*, 90(5): 1 351 - 1 356.

Cannon RM, 1998. Sampling to comply with a maximum pest limit. *Biometrics*, 54: 847 - 858.

Carey JR, 1993. Recent Advances in the Demography and Invasion Biology of Fruit Flies: A Summary. Spring-Verlag, New York, Inc. 115 - 117.

Cheng HJ, Fan XH, Li WM, 2002. History and current situation of pest risk analysis in China. *Plant Quarantine*, 16(1): 28 - 32. [陈洪俊，范晓虹，李尉民，2002. 我国有害生物风险分析(PRA)的历史与现状. 植物检疫，16(1): 28 - 32]

Couey HM, Chew V, 1996. Confidence limits and sample size in quarantine research. *J. Econ. Entomol.*, 79: 887 - 890.

IUCN, 2000. IUCN guidelines for the prevention of biodiversity loss caused by alien invasive species. International Union for the Conversation of Nature, Gland, Switzerland.

Landolt PJ, Chambers DL, Chew V, 1984. Alternative to the use of probit 9 mortality as a criterion for quarantine treatments of fruit fly (Diptera: Tephritidae) infested fruit. *J. Econ. Entomol.*, 77: 285 - 287.

Liang GQ, Liang F, Wu JJ, Yang GH, Situ BL, Zhang ZH, 1999. The test on the treatment of vapor heat against pest in mango for exportation to Japan. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 21(4): 533 - 535. [梁广勤，梁帆，吴佳教，杨国海，司徒保禄，张志红，1999. 拟输日本芒果蒸热杀虫处理试验研究. 江西农业大学学报，21(4): 533 - 535]

Mangan RL, Frampton ER, Thomas DB, Moreno DS, 1997. Application of the maximum pest limit concept to quarantine security standards for the Mexican fruit fly (Diptera: Tephritidae). *J. Econ. Entomol.*, 90(6): 1 433 - 1 440.

Pirunchana P, Methinee H, 2005. Prediction of internal temperature in mango fruit during heat treatment. 31st Congress on Science and Technology of Thailand at Suranaree University of Technology. 18 - 20.

Stonehousea JM, Mumford JD, Verghese A, Shukla RP, Satpathy S, Singh HS, Jiji T, Thomas J, Patel ZP, Jhala RC, Patel RK, Manzar A, Shivalingaswamy TM, Mohantha AK, Nair B, Vidya CV, Jagadale VS, Sisodiya DB, Joshi BK, 2007. Village-level area-wide fruit fly suppression in India: Bait application and male annihilation at village level and farm level. *Crop Protection*, 26: 788 - 793.

Yamamura K, Katsumata H, 1999. Estimation of the probability of insect pest introduction through imported commodities. *Res. Popul. Ecol.*, 41: 275 - 282.

Ye SX, 1994. The Series of International Economic Convention - Packaging Convention. Guizhou People's Press, Guiyang. 50 - 51. [叶世雄，1994. 国际经济惯例丛书——包装国际惯例. 贵阳：贵州人民出版社. 50 - 51]

Zhou GL, Yin LP, Li WM, Zhang WD, 2006. Quantitative assessment of the probabilities of introduction of the Oriental fruit fly using probability model. *Plant Quarantine*, 20(Suppl.): 10 - 13. [周国梁，印丽萍，李尉民，张卫东，2006. 用概率模型定量评估橘小实蝇传入我国的可能性. 植物检疫，20(增刊): 10 - 13]

(责任编辑：袁德成)